

## **JP2003185798**

Publication Title:

**SOFT X-RAY LIGHT SOURCE DEVICE, EUV EXPOSURE DEVICE, AND  
ILLUMINATING METHOD**

Abstract:

Abstract of JP2003185798

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To make effective use of light beams from light sources when a plurality of discharge plasma light sources are bundled.

**SOLUTION:** This soft X-ray light source device comprises a plurality of point light sources; a light collecting and reflecting optical system for collecting the light beams from the plurality of point light sources at one point; an angle- adjustable mirror for reflecting the light beams coming from the light sources and passed through the light collecting and reflecting optical system; and an angle control part for reflecting the light beams from the point light beams in the same direction by varying the angle of the mirror according to the light beams impinging on the mirror.

**COPYRIGHT:** (C)2003,JPO

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

-----

Courtesy of <http://v3.espacenet.com>

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-185798

(P2003-185798A)

(43) 公開日 平成15年7月3日(2003.7.3)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	サーチコード*(参考)
G 2 1 K 1/06		C 2 1 K 1/06	K 2 H 0 9 7
			M 4 C 0 9 2
G 0 3 F 7/20	5 0 3	G 0 3 F 7/20	5 0 3 5 F 0 4 6
	5 2 1		5 2 1
G 2 1 K 5/02		C 2 1 K 5/02	W

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 9 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-380646(P2001-380646)

(22) 出願日 平成13年12月13日(2001.12.13)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 村上 勝彦

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

Fターム(参考) 2H097 AA03 CA15 LA10

4C092 AA04 AB10 AC09 BD20

5F046 CB02 CB23 DA01 GA03 GA14

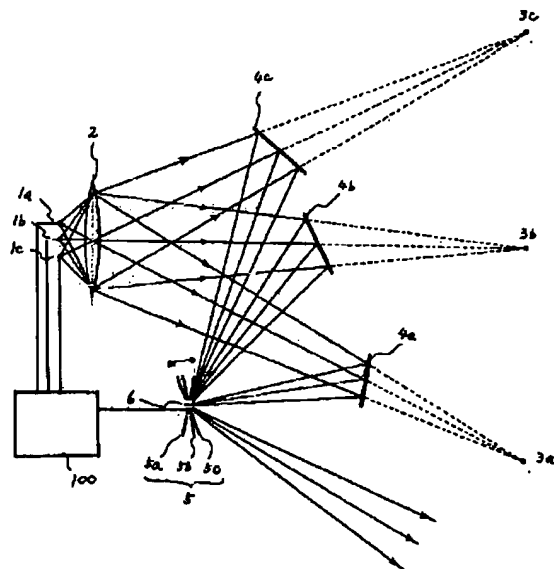
GB01 GC03 GD10

(54) 【発明の名称】 軟X線光源装置およびEUV露光装置ならびに照明方法

## (57) 【要約】

【課題】複数の放電プラズマ光源を束ねた場合に各光源からの光束を有効に活用することが出来ない。

【解決手段】複数の点光源と、複数の点光源からの光を一点に集光させる集光反射光学系と、前記集光反射光学系を通過した各光源からの光を反射させる角度可変ミラーと、前記角度可変ミラーに入射する光束に応じて角度可変ミラーの角度を変えることにより各点光源からの光束を同一の方向へ反射する角度制御部と、を有する事を特徴とする軟X線光源装置。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】複数の点光源と、複数の点光源からの光束を一点に向けて集光させる集光反射光学系と、前記集光反射光学系を通過した各光源からの光を反射させる角度可変ミラーと、前記角度可変ミラーに入射する光束に応じて角度可変ミラーの角度を変えることにより各点光源からの光束を同一の方向へ反射する角度制御部と、を有する事を特徴とする軟X線光源装置。

【請求項2】前記集光反射光学系による集光点が前記角度可変ミラー面上に位置する事を特徴とする請求項1に記載の軟X線光源装置。

【請求項3】前記集光反射光学系による集光点が前記角度可変ミラーに対して光束に沿ってその前後に位置することを特徴とする請求項1に記載の軟X線光源装置。

【請求項4】前記各点光源から発する光線の主光線の方向が一つの円錐上でその頂点へ向かって進行するように配置され、該円錐の頂点に角度可変平面ミラーを配置し、該角度可変ミラーによって反射された光束の主光線が該円錐の回転中心軸と一致することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の軟X線光源装置。

【請求項5】各点光源は、発光強度の最も強い方向が集光点へ向くように互いに傾けて束ねられていることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の軟X線光源装置。

【請求項6】前記集光反射光学系と前記角度可変ミラーとの間に、前記複数の点光源に対応して複数の平面ミラーを配置して、前記角度可変ミラーで反射する各光束の位置を決めることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の軟X線光源装置。

【請求項7】前記集光反射光学系を駆動する機構を更に備え、集光反射光学系を移動させることにより、前記角度可変ミラーで反射する各光束の位置を決めることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の軟X線光源装置。

【請求項8】前記集光反射光学系は前記各点光源の各々に対応して設けられた複数の集光反射光学系からなり、各集光反射光学系により前記角度可変ミラーで反射する各光束の位置を決めることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の軟X線光源装置。

【請求項9】前記複数の点光源のうち、一度に一つの光源だけを発光させる発光制御手段を備えた事を特徴とする請求項1乃至8のいずれか1項に記載の軟X線光源装置。

【請求項10】請求項1から9のいずれか1項に記載の軟X線光源装置を搭載したことを特徴とするEUV露光装置。

【請求項11】複数の点光源から射出する光束を異なる時間において同じ点に集め、この点を2次光源として被対象物を照明する事を特徴とする照明方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、EUV露光装置、軟X線顕微鏡、軟X線分析装置などの軟X線光学機器に使用される軟X線光源装置及び、EUV露光装置ならびに被対象物の照明方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】近年、半導体集積回路素子の微細化に伴い、光の回折限界によって制限される光学系の解像力を向上させるために、従来の紫外線に代わってこれより波長の短いX線を使用した投影リソグラフィ技術が開発されている。この技術に使用されるX線投影露光装置(X線露光転写装置)は、主として、X線源、照明光学系、マスク(レチクル)、結像(投影)光学系、ウエハ、マスクを移動させるステージ等により構成される。近年、開発されているものはX線領域の波長が10～15nmのEUVと呼ばれる波長(軟X線)の光を用いたものであり、このEUV光を用いた露光装置をEUV露光装置と呼ぶ。

【0003】このEUV光源としては、放射光光源も検討されているが光量が低いため、レーザープラズマ光源、放電プラズマ光源が注目されている。現在、光源に要求されるEUV光の出力は、波長13～14nm付近、バンド幅2%(約0.3nm)で、50～150Wである。露光量制御(露光量均一性等)のための要請から、繰返し周波数は5kHz以上にすることがある。また、etendu(エテンデュ:光源の面積と立体角の積)と呼ばれる量が重要であり、etenduは照明領域の面積と照明光束の立体角の積を越えてはならない。EUV露光装置では、従来の光露光装置と比べて、照明領域の面積も照明光束の立体角も小さくなり、etenduの値は1mm<sup>2</sup>str程度以下に抑える必要がある。etenduがこれより大きくなると、その分の光束は照明領域へ導くことが原理的に不可能となる。放電プラズマ光源は、電極間の放電により電極材料あるいは電極の近傍に配置された標的物質をプラズマ化し、そのプラズマから軟X線を輻射させるものである。この放電プラズマ光源は、レーザープラズマ光源や放射光光源と比べて装置構成が単純で小型であり、放出される軟X線の量が比較的多く、さらに、供給される電力に対する軟X線への変換効率が高く、効率的で低コストである。このような放電プラズマ光源としては、Z-ピンチプラズマ光源、キャピラリ放電プラズマ光源、プラズマフォーカス光源などの様々な形態が開発されている。

【0004】放電プラズマ光源の最大出力は、主として熱負荷の限界によって制限される。これらいずれのタイプの放電プラズマ光源においても、電極間に大電流を流して標的物質から高温のプラズマを生成させている。生成されたプラズマを流れた大電流は電極にも流れ込み、電極の抵抗により発熱し電極温度が上昇する。また、プラズマは電極の近傍で生成するため、プラズマからの輻射によっても電極が加熱される。また、軟X線領域の波長を発生させるプラズマ光源ではプラズマ周囲のガスに

よる軟X線の吸収を低減するため、光源部分をチャンバで囲んでその内を減圧状態としている。このため、加熱された電極から対流や熱伝導により熱を散逸させることができず、電極の温度上昇を助長している。このような電極温度の上昇は、プラズマ生成の繰り返し周波数が高い場合は特に著しく、最終的には電極が熔融してしまい、プラズマ生成が不可能になる恐れがある。このような熱負荷の制限により、放電プラズマ光源の達成できるEUV出力は20~30W程度と考えられている。これでは、EUV露光装置の必要とするEUV出力(50~150W)には足りない。そこで、図1に示すように複数の放電プラズマ光源を束ねて使用することが考えられる。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図2に示すように、単純に束ねただけでは光源の実効的な寸法が大きくなってしまい、その結果 $etendu$ が大きくなり過ぎて、光源からの光束を有効に活用することが出来ない。図2(a)は単一の放電プラズマ光源を正面から見た図。光源7の直径(10mm程度以上)に対して、発光部8の直径(0.1mm程度以下)は小さい。この場合の $etendu$ は発光部1の面積と集光光学系の立体角で決まる。一方、複数の光源を束ねた場合には、 $etendu$ を決める実効的な光源面積は、発光部の面積の和ではなく、全ての発光部を含む最小の円の面積となる。図2(b)は、この例であり、4つの放電プラズマ光源を束ねた場合を示す。光源面積は発光部8a-8dの和ではなく、円11の面積となる。従って、 $etendu$ の大きさは単一の光源の場合よりも格段に大きくなってしまいますので、実際に利用できるEUV光の出力は殆ど増加しない。

【0006】本発明は以上のような従来の問題点に鑑みてなされたものであり、複数の光源を束ねて利用可能な光量を増大することのできる軟X線光源装置およびそれを用いたEUV露光装置ならびに照明方法を提供するものである。

#### 【0007】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明では複数の点光源と、複数の点光源からの光を一点に集光させる集光反射光学系と、前記集光反射光学系を通過した各光源からの光を反射させる角度可変ミラーと、前記角度可変ミラーに入射する光束に応じて角度可変ミラーの角度を変えることにより各点光源からの光束を同一の方向へ反射する角度制御部と、を有する事を特徴とする軟X線光源装置を提供する。

【0008】尚、本発明で言う点光源や集光点等の点の意味は必ずしも真の点ではなく、実際には数十 $\mu m$ から数百 $\mu m$ の大きさを持っていて構わない。

#### 【0009】

【発明の実施の態様】図3は本発明に係る実施の形態による軟X線光源装置S(詳細は後述)を備えたX線露光装置の一例を示す構成図である。

【0010】X線露光装置は、主に軟X線光源装置S、照明光学系、マスクMのステージ(図示せず)、投影光学系、ウエハWのステージ(図示せず)などにより構成されている。軟X線光源装置Sには後述する光源装置が用いられ、光源Sからの照明光束IBが照明光学系(IR1、IR2、IR3およびIR4等)に向かう。照明光学系(IR1、IR2、IR3およびIR4等)は、反射面に斜め方向から入射した軟X線を反射させる斜入射ミラー、反射面が多層膜により形成される多層膜ミラー、および所定の波長の軟X線のみを透過させるフィルター等により構成されている。この照明光学系によってマスクM上に所望の波長の軟X線(EUV光)で照明する。

【0011】軟X線の波長域では透明な物質は存在しないので、マスクMには従来の透過型のマスクではなく反射型のマスクが使用される。投影結像光学系は複数の多層膜ミラー(PR1、PR2、PR3およびPR4)等により構成されている。マスクM上に形成された回路パターンは、投影結像光学系によりレジストが塗布されたウエハW上に結像して該レジストに転写される。なお、軟X線は大気に吸収されて減衰するため、その光路は全て所定の真空度(例えば、 $1 \times 10^{-5}$  Torr以下)に維持されている。露光方式はステップアンドリピート方式やスキャン露光方式等が可能であり、不図示のマスクステージ、ウエハステージは各々相対的に移動が可能である。

【0012】図4に本発明の実施の形態による軟X線光源装置を示す。複数の点光源1a~1cから発生した発散光束を一つの集光光学系2で集光する(図4では集光光学系としてレンズの絵が描いてあるが、図6を用いて後述するように実際には集光光学系2は反射光学系で構成される)。元の点光源の位置が異なるので、それぞれの点光源1a~1cに対応する集光点3a~3cは異なる位置に形成される。各集光点の手前(集光光学系側)に、光束をけらない位置に平面ミラー4a~4cを配置する。平面ミラー4a~4cで反射された後の、各点光源1a~1cの集光点6の位置が一致するように、平面ミラー4a~4cは配置されている。このような構成とすることにより、異なる点光源から発生した光束の集光点位置を一致させることができる。しかし、これだけでは異なる点光源から発生した光束は、集光点6を通過した後に異なる方向へ進行してしまうので、集光点6の位置に角度可変平面ミラー5を配置し、この角度可変平面ミラー5を、集光点6を中心として振動させることによって反射光の方向を常に同じにすることができる。各点光源1a~1cは同時には発光せず、順次発光させる。点光源1aが発光しているときは、角度可変平面ミラー5を5aの角度にし、点光源1bが発光しているときは、角度可変平面ミラー5を5bの角度にする。点光源1cが発光しているときは、角度可変平面ミラー5を

5cの角度にする。角度可変平面ミラー5及び点光源1a-1cは各々制御部100と電氣的に接続されており、上述の制御が行われる。光源の発光制御としては、放電プラズマ光源は電氣的にトリガーをかけて高圧パルスを加加することにより発光のタイミングを制御すればよい。また、レーザープラズマは、励起用レーザー光の発光のタイミングで制御すればよい。放射光は（厳密には非常に高速なパルス発光であるが）ほぼ連続発光光源であるので、放射光の場合は、異なる発光点（各点ではずっと発光しつづけている。）からの光を本発明によって集めることができる。このように、発光している点光源に合わせて角度可変平面ミラー5の角度を調整することにより、角度可変平面ミラー5で反射した後の光束の方向を常に一定に保つことが出来る。以上のようにして、異なる点光源1a～1cを、一つの集光点6から一定の方向に発散する二次光源に変換することが出来るので、実効的に光源のetenduを縮小することが出来ており、この後に配置される照明光学系によって、光束を有効に利用することが可能となる。図4の角度可変ミラー6から反射した光束IBが図3の光源装置Sから広がりながら照明光学系に向かう光束IBに対応する。

【0013】図4では簡便のために一次元の図を描いたが、実際には紙面に垂直方向にも点光源を配置することが出来る。本実施例では図1に示すように、9本のZピンチ放電プラズマ光源を束ねて使用した。

【0014】一般に光源の発光強度には角度分布があり、通常は発光部に垂直な方向が一番強いので、その方向が集光光学系による集光点3a～3cの方向と一致するように、図5に示すように、各Zピンチプラズマ放電光源7a～7cを互いに傾けて配置した。

【0015】平面ミラー4a～4c、および角度可変平面ミラー5の反射面には、波長13～14nmのEUV光を反射するためにMo/Si多層膜がコーティングされている。波長11nm付近のEUV光を使用する場合には、Mo/Be多層膜を使用する。尚、角度可変ミラーに入射する光束の角度に応じて反射率が異なる。反射率が異なると各光束の強度が変化することになり、露光量の変動に寄与するため、仕様を満たす範囲で入射角度が一定となる様に配置することが好ましい。あまり効率的ではないが、入射角度を一定にできない場合には、角度可変ミラー5から反射される各光束の強度が一定となるように、光源から射出する光束の強度を制御したり、各平面ミラーの反射率を制御したり、フィルターを用いることが可能である。

【0016】集光光学系2には、図6(a)～(c)に示す反射光学系を使用可能である。図6(a)は、回転楕円体形状の反射面を持つミラー21である。楕円の一方の焦点位置に光源1を配置すると、もう一方の焦点位置が集光点3となる。

【0017】図6(b)は、図6(a)に示した回転楕

円体形状の反射面を持つミラーを複数枚重ねて構成されたミラー22である。単一の反射面を用いる場合よりも、光源1からの集光立体角を拡大することが出来る。図6(c)は、中心に穴のあいた凹面鏡23と、凸面鏡24とを組み合わせた光学系25である。これらを同心球面で構成した光学系はシュバルツシルド光学系として良く知られている。反射面の形状に非球面を用いることにより、光源1からの集光立体角を拡大することが出来る。図6に示した集光光学系の反射面には、波長13～14nmのEUV光を反射するためのコーティングが施してある。ミラーへの入射角によりコーティングの種類を選択する。斜入射角が10度程度以下の場合には、全反射を利用するため、Ru等の金属薄膜をコーティングする。斜入射角が10度程度以上の場合には、多層膜による反射を利用するため、Mo/Si多層膜をコーティングする。波長11nm付近のEUV光を使用する場合には、多層膜材料にMo/Beを使用する。また、ミラー以外にも、ゾーンプレートを集光光学系2に用いることも出来る。本実施の形態では、図6(a)に示すような、Mo/Si多層膜をコーティングした回転楕円鏡21を集光光学系2に用いた。

【0018】角度可変平面ミラー5にはDMD(Digital Mirror Device)を使用し、XY2軸周りの角度を可変とした。尚、DMDは通常、半導体製造技術を用いて複数のミラーがアレイ状に形成されるが、本実施の形態の場合ミラーの数は1つで十分である。他の構成はDMDと同様の構成であればよい。

【0019】光源の運転の様子を図7に示す。放電プラズマ光源はパルス状に発光する光源である。図7は横軸が時間、縦軸が発光強度を表し、各光源の発光パルスを示す。本実施例では、図7に示すように、一つの光源を運転している間は他の光源の運転を停止した。光源の切り替えと同時に角度可変平面ミラー5の角度の切り替えを行うことによって、集光点6からの発光は図7(a)の「総合」に示すように連続的なパルス発光となる。従来のように1つの光源を用いた場合には、「総合」で示したような連続的なパルス発光を達成するためには冷却期間を設けることができないが、本発明の場合、個々の光源はその停止期間中に十分に冷却が出来るので、連続運転する場合よりも大きな電力を投入することが可能になり、発光強度を高めることが可能となる。

【0020】また、図7(b)の「総合」に示すように、角度切り替え時に停止期間のある連続的なパルス発光とする事も可能である。この停止期間中に、露光フィールド間のステージ移動を行う。つまり、スキャン露光の場合、この停止期間にステージのステップ動作を行うことが可能である。尚、スキャン中に停止期間があると露光不良となるので、停止期間はスキャン動作の前後に行うことが好ましい。また、各スキャン毎に光束を切り替える必要も無く、光源の冷却時間と露光の効率を考慮し

て決めればよい。例えば、露光フィールド間のステージ移動、マーク検出、各種キャリブレーション作業等を行う間は露光動作が行われないため、このような非露光期間を利用して角度切り替えを行い次の光源を用いるようにすることが可能である。個々の光源はその停止期間中に十分に冷却が出来るので、連続運転する場合よりも大きな電力を投入することが可能になり、発光強度を高めることが可能となる。

【0021】第1の実施形態では集光点6の位置に角度可変平面ミラー5を配置したが、このような配置ではEUV光のエネルギーが角度可変平面ミラー5表面で局所的に集中することになるので、温度上昇によって多層膜がダメージを受ける恐れがある。そこで、第2の実施形態では、この部分を図8のような配置にした。尚、第1の実施形態と同様な点については説明を省略する。

【0022】角度可変平面ミラー5を、集光点よりも手前（入射光束の上流側）に配置し、この位置50で各点光源からの光束が交わるようにした。ここで、光束が交わるとは、主光線が一点に交わり、光束の断面が（角度により若干断面積が異なるが）実質的に全部重なる位置を意味する。後述する説明においても光束が交わるとはこの意味である。（角度可変平面ミラー5が無い場合の）各点光源からの光束の集光点位置6a～6cは、光束の交わる位置50を中心とする球面9上に配置されるように、平面ミラー4a～4cの配置を調整した。このような配置にして、発光している光源に合わせて角度可変平面ミラー5の角度を振ることにより、集光点60の位置を常に同一にすることが出来る。以上のようにして、異なる点光源1a～1cを、一つの集光点6から一定の方向に発散する二次光源に変換することが出来るので、実効的に光源のetenduを縮小することが出来ており、この後に配置される照明光学系によって、光束を有効に利用することが可能となる。

【0023】図8では簡便のために一次元の図を描いたが、実際には紙面に垂直方向にも点光源を配置することが出来る。本実施の形態では図1に示すように、9本のホローカソード放電プラズマ光源を束ねて使用した。また、本実施の形態では、集光光学系2には図6（b）に示すような、複数の回転楕円面を重ねたミラー22を用いた。最内周のミラーの反射面にはRu薄膜をコーティングし、外周のミラーの反射面にはMo/Si多層膜をコーティングした。角度可変平面ミラー5には、裏面にピエゾアクチュエータを装着して、XY2軸周りの角度を可変とした。

【0024】図9は本発明の第3の実施形態を示す。第3の実施形態では、角度可変平面ミラー5を、集光点よりも先（入射光束の下流側）に配置して、この位置50で各点光源からの光束が交わるようにした。各点光源からの集光点位置6a～6cは、光束の交わる位置50を中心とする球面9上に配置されるように、平面ミラー4

a～4cの配置を調整した。このような配置にして、発光している光源に合わせて平面ミラー5の角度を振ることにより、集光点60の位置を常に同一にすることが出来る。以上のようにして、異なる点光源1a～1cを、一つの集光点6から一定の方向に発散する二次光源に変換することが出来るので、実効的に光源のetenduを縮小することが出来ており、この後に配置される照明光学系によって、光束を有効に利用することが可能となる。

【0025】図9では簡便のために一次元の図を描いたが、実際には紙面に垂直方向にも点光源を配置することが出来る。本実施の形態では図1に示すように、9本のキャピラリ放電プラズマ光源を束ねて使用した。また、本実施の形態では、集光光学系2には図6（c）に示すような、凹凸二枚のミラーから構成される光学系25を用いた。凸面は球面、凹面には非球面を用いた。各ミラーの反射面にはMo/Si多層膜をコーティングした。角度可変平面ミラー5には、裏面にピエゾアクチュエータを装着して、XY2軸周りの角度を可変とした。

【0026】なお、以上の実施形態ではいずれも9本の放電プラズマ光源を束ねた場合について説明したが、束ねる本数はこれより多くても少なくとも構わない。また、放電プラズマ光源以外にも、レーザープラズマ光源や放射光光源などに対しても、複数の発光点から来る光束をひとつの二次光源に変換するために、本発明を適用することが可能である。

【0027】上述したように、本発明によれば複数の点光源から射出する光束を一つの点から射出する光束として扱えるため、この点を2次光源として扱える。本実施の形態では露光装置を例にとり、照明する被対象物としてマスクを用いたが、これに限定されることなく他の被対象物を照明する装置にも本発明の軟X線光源を適用することが可能である。

【0028】図10に本発明の第4の実施形態であるEUV（軟X線）光源装置を示す。尚、光源の運転の様子、集光光学系の構成、角度可変ミラーの構成、発光強度が一番強い方向を用いることができるように光源を傾けて配置すること、各制御等は前述の実施形態と同様にできるため説明は省略する。複数の点光源101a～101cから発生した発散光束を一つの集光光学系102で集光する。（図中では説明を容易にするため、透過光学系であるレンズの絵が描いてあるが、前述したように図6に代表的に示したように各種の反射光学系を用いることが可能である。）元の点光源の位置が異なるので、一つの集光光学系2で集光すると、図11に示すように、それぞれの点光源101a～101cに対応する集光点103a～103cは異なる位置に形成されてしまう。そこで本実施形態では、発光している点光源の位置に合わせて集光光学系102の位置を変更する駆動機構を設けた。点光源101aが発光するときは集光光学系を102aの位置に、点光源101bが発光するときは集光

光学系を102bの位置に、点光源101cが発光するときには集光光学系を102cの位置に移動させることにより、集光点106の位置が常に一定となるようにした。集光光学系102は集光点106を中心とする回転移動をすることになる。このような構成にすることにより、異なる点光源から発生した光束の集光点位置を一致させることが出来る。しかし、これだけでは異なる点光源から発生した光束は、集光点106を通過した後に異なる方向へ進行してしまうので、集光点106の位置に角度可変平面ミラー105を配置し、この角度可変平面ミラー105を、集光点106を中心として振動させることによって反射光の方向を常に同じにすることができる。各点光源101a~101cは同時には発光せず、順次発光させる。発光している点光源に合わせて角度可変平面ミラー105の角度を調整することにより、角度可変平面ミラー105で反射した後の光束の方向を常に一定に保つことができる。以上のようにして、異なる点光源101a~101cを、一つの集光点106から一定の方向に発散する二次光源に変換することが出来るので、実効的に光源のetenduを縮小することが出来ており、この後に配置される照明光学系によって、光束を有効に利用することが可能となる。

【0029】図10では簡便のために一次元の図を描いたが、実際には紙面に垂直方向にも点光源を配置することが出来る。本実施例では図12に示すように、4本のZピンチ放電プラズマ光源を束ねて使用した。多層膜ミラーの反射率は入射角によって変化するので、発光している点光源を切り替えても角度可変平面ミラー105への光線の入射角は大きく変化しないことが望ましい。そこで、本実施形態では図12に示すように、各光源107a~107cから発する光線の主光線の方向が一つの円錐上でその頂点へ向かって進行するように配置し、この円錐の頂点に角度可変平面ミラー105を配置し、角度可変ミラーによって反射された光束をこの円錐の回転中心軸の方向に取り出す配置とした。このような配置とすることにより、どの光源が発光している際にも角度可変平面ミラー105への光線の入射角は同じとなるので、入射角度変化による反射率変化を生じない。この手法は前述の実施形態に適用しても良い。集光光学系102には、図6(a)~(c)に示すような反射光学系が使用できる。

【0030】図10に示す例では集光点106の位置に角度可変平面ミラー105を配置したが、このような配置ではEUV光のエネルギーが角度可変平面ミラー105表面で局所的に集中することになるので、温度上昇によって多層膜がダメージを受ける恐れがある。このダメージを避けるためには、図8、9を用いた第2、第3の実施形態と同様にして集光位置を角度可変ミラー105の前後に配置すればよい。

【0031】図13に本発明の第5の実施形態であるEU

V(軟X線)光源装置を示す。尚、光源の運転の様子、集光光学系の構成、角度可変ミラーの構成、発光強度が一番強い方向を用いることができるように光源を傾けて配置すること、各制御等は前述の実施形態と同様にできるため説明は省略する。複数の点光源201a~201cから発生した発散光束を各点光源に対応した集光光学系202a~202cで集光する。(図中では説明を容易にするため、透過光学系であるレンズの絵が描いてあるが、前述した図6に代表的に示したように各種の反射光学系を用いることが可能である。)各々の点光源と集光光学系の組による集光点206の位置が同一となるように、各光源207a~207cと集光光学系202a~202cを配置した。このような構成にすることにより、異なる点光源から発生した光束の集光点位置を一致させることが出来る。しかし、これだけでは異なる点光源から発生した光束は、集光点206を通過した後に異なる方向へ進行してしまうので、集光点206の位置に角度可変平面ミラー205を配置し、この角度可変平面ミラー205を、集光点206を中心として振動させることによって反射光の方向を常に同じにすることができる。各点光源201a~201cは同時には発光せず、順次発光させる。発光している点光源に合わせて角度可変平面ミラー205の角度を調整することにより、角度可変平面ミラー205で反射した後の光束の方向を常に一定に保つことが出来る。以上のようにして、異なる点光源201a~201cを、一つの集光点206から一定の方向に発散する二次光源に変換することが出来るので、実効的に光源のetenduを縮小することが出来ており、この後に配置される照明光学系によって、光束を有効に利用することが可能となる。

【0032】図13では簡便のために一次元の図を描いたが、実際には紙面に垂直方向にも点光源を配置することが出来る。本実施の形態では図12と同様な構成で4本のZピンチ放電プラズマ光源を束ねて使用した。

【0033】集光光学系を反射鏡にした場合、例えば、図14のような構成にすることが可能である。図14(b)に示すように8個の光源207を円を描くように配置し、図14(a)に示すように、円の中央部に角度可変ミラー205を配置し、中央部から照明光を得るという構成が可能である。第5の実施形態では集光点206の位置に角度可変平面ミラー205を配置したが、このような配置ではEUV光のエネルギーが角度可変平面ミラー205表面で局所的に集中することになるので、温度上昇によって多層膜がダメージを受ける恐れがある。このダメージを避けるためには、図8、9を用いた第2、第3の実施形態と同様にして集光位置を角度可変ミラー205の前後に配置すればよい。

【0034】なお、以上の実施形態で用いた光源の数はこれに限るわけではなく、束ねる本数はこれより多くても少なくとも構わない。また、放電プラズマ光源以外に

も、レーザープラズマ光源や放射光光源などに対して、複数の発光点から来る光束をひとつの二次光源に変換するために、本発明を適用することが可能である。

【0035】特に、第5の実施形態の構成にすると、第1～第4の実施形態に比べ、各光源の配置が自由でできるという特徴がある。

【0036】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、複数の放電プラズマ光源を束ねて使用してもetenduが拡大することが無いので、光源から発生した光束を有効に利用することが出来る。各光源は周期的に停止が設けられ、その間に十分な冷却が可能となるので、単独で連続運転する場合よりも高い入力が可能となり、その結果高いEUV出力を発生することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】複数の放電プラズマ光源を束ねた様子を示す図

【図2】複数の光源を束ねた場合のetenduを説明する図

【図3】本発明による軟X線光源装置を適用可能なEUV露光装置を示す図

【図4】本発明による軟X線光源装置の第一の実施形態を示す図

【図5】複数の光源の好ましい束ね方を示す図

【図6】集光光学系の具体的形態を示す図

【図7】本発明による軟X線光源装置の運転の様子を示す図

【図8】本発明による軟X線光源装置の第二の実施形態

を示す図

【図9】本発明による軟X線光源装置の第三の実施形態を示す図

【図10】本発明による軟X線光源装置の第四の実施形態を示す図

【図11】本発明を使用しない場合の集光の様子を示す図

【図12】本発明による軟X線光源装置の一例を示す図

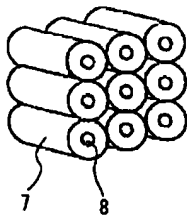
【図13】本発明による軟X線光源装置の第五の実施形態を示す図

【図14】本発明による軟X線光源装置の第五の実施形態の一例を示す図

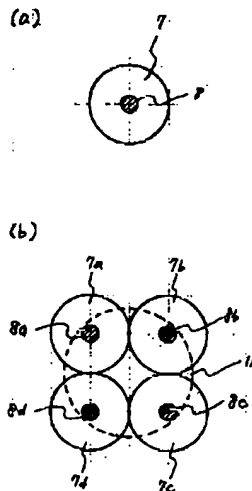
【主要部分の符号の説明】

- 1・・・点光源
- 2・・・集光光学系
- 3・・・集光点
- 4・・・平面ミラー
- 5・・・角度可変平面ミラー
- 50・・・光束の交わる位置
- 6・・・集光点
- 60・・・集光点
- 7・・・光源
- 8・・・発光部
- 9・・・球面
- 11・・・全ての発光部を含む最小円

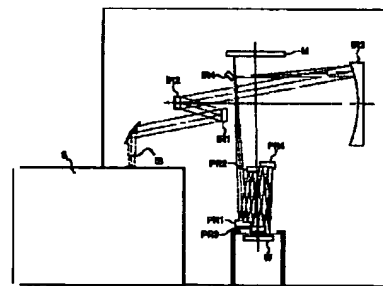
【図1】



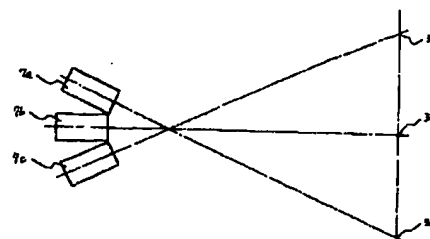
【図2】



【図3】

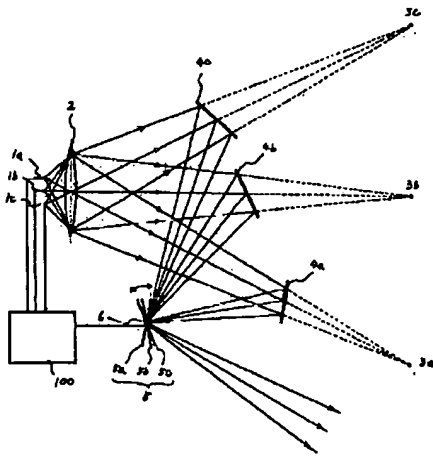


【図5】

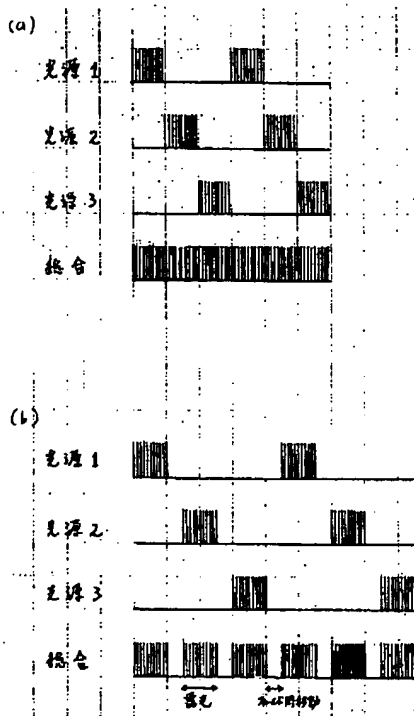




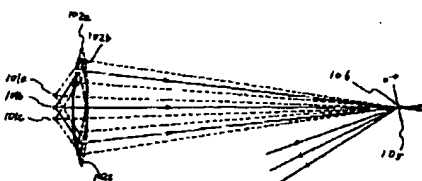
【图4】



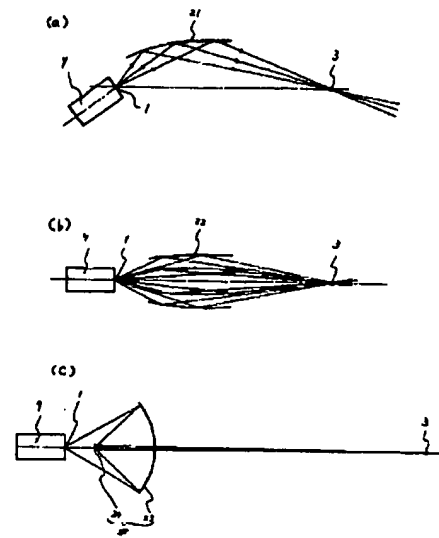
【图7】



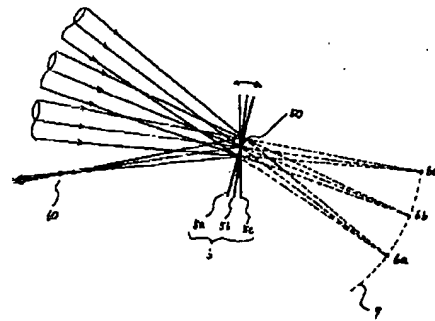
【图10】



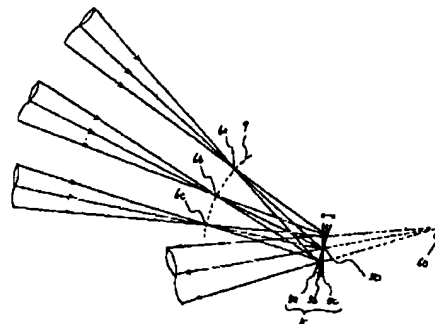
【图6】



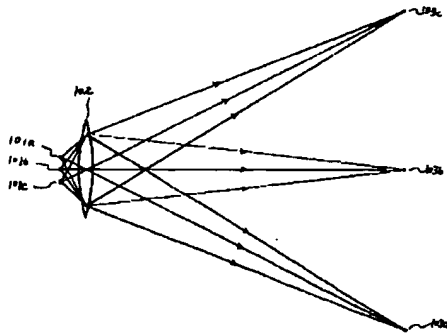
【图8】



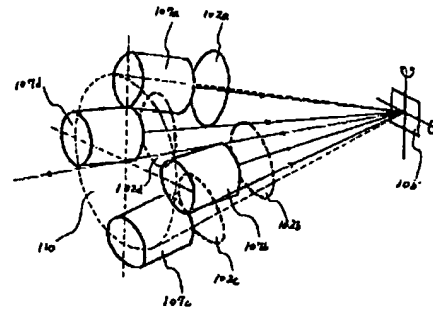
【图9】



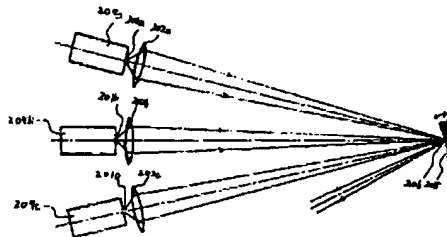
【図11】



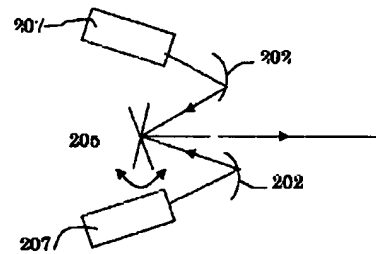
【図12】



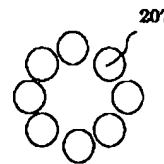
【図13】



【図14】



(a)



(b)

フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

(参考)

G 2 1 K 5/02

G 2 1 K 5/02

X

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 3 1 A

H 0 5 G 2/00

H 0 5 G 1/00

K